DOI:
张震 智能终端从量测技术拓展至智能化控制补偿技术研究［J］. ****，****，**，（**）：00-00
Zhen ZHANG The intelligent terminal has expanded from measurement technology to intelligent control and compensation technology［J］. ****，****，**，（**）：00-00

智能终端从量测技术拓展至智能化控制补偿技术研究

张震
华能济南黄台发电有限公司　山东 济南　250100

摘　要：智能终端在量测技术的基础上，已经拓展至智能化控制补偿技术研究。这一技术的发展和应用，对于提高电力系统的效率和稳定性具有重要意义。首先，量测技术是智能电网的基本组成部件。通过高速双向信息通信系统，智能电网可以对电网各项参数进行实时监测，并将检测到的电网参数转化为数据信息，供智能电网的各个系统使用。这些信息可以及时反映出电网的完整状态，帮助对电网的安全性、可靠性进行综合评估，并提高能源的利用效率。而智能化控制补偿技术则是进一步提高电网效率和稳定性的重要手段。智能化控制技术要求引进预设的专家系统，在智能电网中自动诊断、分析并预测电网状态。在不超过专家系统设定范围的情况下，采取恰当的措施防止供电中断和电能质量扰动。这些措施可能包括调整电网的有功功率和无功功率，以实现对电能的智能控制和补偿。因此，智能终端从量测技术拓展至智能化控制补偿技术研究，是电力系统技术发展的重要趋势。这种发展不仅可以提高电力系统的效率和稳定性，也有助于实现电力系统的智能化和自动化，从而满足现代社会对电力供应的高要求。

关键词：智能终端 量测技术 智能化控制补偿产品
中图分类号：TM933.4

The intelligent terminal has expanded from measurement technology to intelligent control and compensation technology

Zhen ZHANG
Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co.，Ltd.，Jinan，shandong 250100，China

Abstract: On the basis of measurement technology, the intelligent terminal has been extended to the research of intelligent control and compensation technology. The development and application of this technology is of great significance for improving the efficiency and stability of the power system. First of all, measurement technology is a basic component of the smart grid. Through the high-speed two-way information communication system, the smart grid can monitor the parameters of the power grid in real time, and convert the detected grid parameters into data information for the use of various systems of the smart grid. This information can reflect the complete status of the power grid in a timely manner, help to comprehensively evaluate the safety and reliability of the power grid, and improve the efficiency of energy utilization. Intelligent control and compensation technology is an important means to further improve the efficiency and stability of the power grid. Intelligent control technology requires the introduction of a pre-set expert system that automatically diagnoses, analyzes and predicts the state of the grid in the smart grid. Appropriate measures are taken to prevent interruptions in the supply supply and disturbances in power quality, up to the limits set by the expert system. These measures may include adjusting the active and reactive power of the grid to achieve intelligent control and compensation of electrical energy. Therefore, it is an important trend in the development of power system technology to expand the research of intelligent terminal from measurement technology to intelligent control and compensation technology. This development can not only improve the efficiency and stability of the power system, but also help to realize the intelligence and automation of the power system, so as to meet the high requirements of modern society for power supply.

作者简介：张震 男（1977- ）从事电能计量技术研究　721047546@qq.com

Key words: Smart terminals Measurement technology Intelligent control and compensation products

0 引言

进入2017年以来，本文作者与行业专家就电表行业如何拓展技术创新产品产业化开发应用议题，经研究后陆续发表下列文章:

1月16日:«电表行业:向电，水，气，热能源计量领域拓展技术创新产品的开发与应用正当时！»

3月4日:«顺应智能配电网建设高端技术需求，推进配电台区智能（高级）终端系列产品开发应用的产业化探索»

3月19日:«配电台区智能（高级）终端高级应用系统前期设计技术的讨论»

1,电表行业:向电，水，气，热能源计量领域拓展技术创新产品的开发与应用正当时！

2016年12月，中央经济工作会议提出:"振兴实体经济","实施创新驱动发展"的新政，智能配电网与能源互联网建设正在有序推进。这些新政为已经进入困境中的电表行业，指明了发展方向。

进入2017年，经汇总分析新一年电表行业发展面临的困惑与机遇，本文作者提出:«电表行业:向电，水，气，热能源计量领域拓展技术创新产品的开发与应用正当时！»的议题。

本文主要叙述2017----2018年电表行业发展面临的新情况，推进电表行业向电，水，气，热能源计量领域拓展技术创新产品开发，应用的思路与对策。

2017-----2018年电表行业发展面临的困惑与机遇

1 ）传统电表计量产品市场需求跌入低谷

近几年，本文作者多次提到:电表行业要尊惜，用心做好电表，采集终端，低压计量箱3个基本市场。2014/2015年，国网智能电表年需求总量达到峰值9000万只，电表企业也相应扩大了产能。

•2017年

智能电表。2017年，随着智能电表实现全面应用与用电信息采集系统全面建成，国网智能电表需求总量将大幅下降。网上预期，国网2017年智能电表集中招标量为2000----4000万只，比2014/2015年智能电表需求量下降78%----56%。

采集终端。网上预期，"采集终端要延后表计2年，2017年采集终端招标继续放量"，估计采集终端需求700万台，宽带载波通信模块600万块。但是，历年的采集终端招标金额，只有智能电表的1/3。

•2018年

新一代国网表进入样机试用改进，用电信息采集系统转向全面深化应用 ，估计智能电表，采集终端都将继续处于低谷。

•2018年后

新一代国网表进入批量应用，智能电表需求量或将回升。但是，智能电表，采集终端需求情况尚不明朗。

面对今后几年电表市场新情况，电表企业需在用心做好国网智能电表集中招标与新一代国网表样机开发，送检基础上，慎重研究企业转型新产品开发问题。

电表企业转型新产品开发，有两条路径可选:

一般情况，转型新产品开发走捷径:貼牌，仿制/兼并需求产品企业。由于转型新产品需跟着新的市场走，营销还是十分困难。

另一条路，本文作者建议:有经济技术实力的电表企业 ，走技术创新开发的路径，选择有市场前景，开发有难度，与电网集中招标关系不大的相关领域，就是电，水，气，热能源计量领域技术创新产品开发与应用。

2 ）计量新原理电表产品暂时需求不旺

2016年12月，国网计量中心发布报告:«智能计量体系建设与发展»。

近几年，国网的用电信息采集系统建设与应用,«多表合一»信息采集建设与应用，计量检定自动化的内容 ，报刊多有报道。

这次新发布的"智能计量体系的发展":国网要构建新一代采集系统，引人关注。

•新一代采集系统架构

新一代采集系统运用云计算，大数据，物联网，移动通信技术，实现高效，灵活，安全运作。其系统架构，包括:

主站，支持更加复杂多样的业务应用要求

通信，融合多种互联互通的高速通信技术

终端，终端模组化，即插即用，自动同步

电能表，电能表"双芯"化，支持在线升级

•面向对象通信协议:（略）

•采集效率提升:（略）

•分布式系统

关键技术:云计算，分布式存储，大数据，性能

监测，智能化运维。

预期指标:

接入终端数:500万台

接入计量点数:8000万个

主站到电能表采集频数:5s

常规数据查询响应时间:<3s

模糊数据查询响应时间:<10s

终端并发处理:1万台

故障恢复时间:2h

•高可靠通信技术:（略）

•"双芯"智能电表

关健技术:可靠性设计，功能分离设计，远程安全升级

技术内容，包括:

结构设计，模组化结构

功能设计，计量与非计量功能分离，即计量与非计量功能"双芯"化

通信接口速率，高速通信接口

模块识别，所有模块自动识别

电池，可更换

可靠性，更为精确，可靠。

下面内容，录用于国网«基于ir46理念的"双芯"智能电表设计方案»:

•计量芯功能要求

计量芯作为法制计量部分，功能不能升级

计量芯设计的重点要求:獨立性，数据可追溯，数据准确可靠，时钟要安全

•管理芯功能要求

管理芯采用模组化设计方案（显示，通信，负荷曲线，费控，事件等模块独立设计）

升级数据下载，采用数据加密+链路认证方式

识别新程序与参数是否匹配

下载与更新，不影响计量芯正常工作

由以上叙述可见，今后几年，国网智能计量体系的发展，主要推进新一代采集系统的构建，研究采用通信，计算，物联网等现代化技术为主攻方向。其中的新一代国网表 ，采用"双芯"化。"双芯"直接通过spi接口进行数据交换，实现法制计量功能与非计量功能相互独立。

新一代国网表的电能计量功能，与国网现行2013年版智能电表企业标准相同，计量芯功能不允许软件升级。

3 ）电力/电表企业向水，气，热能源计量领域拓展新业务已经形成热潮，成为时尚！

•国网，在上级能源主管部门及部分地方政府支持下，强力推进电，水，气，热表"多表合一"信息采集建设。"中电联"发布跨行业电力行标:«电，水，气，热能源计量管理系统»团体标准。到2016年底，国网"多表合一"信息采集累计接入163万户。

•近两年来，由电力计量媒体扩展到电，水，气，热"四表集抄"技术与信息传播业务，推进能源计量集抄建设。

•威胜集团公司:经过多年运作经验的积累，由电能计量与电力能效管理供应商发展成为电，水，气，热能源计量与能效管理系统解决方案及产品供应商。

国内，估计有20多个电表企业中标"多表合一"信息采集工程。

4 ）推进水，气，热能源计量领域现代化建设，需要引入高端计量及通信新技术与管理经验

•水，气，热能源计量工作由地方政府进行分片管理，新技术引用与资金投入困难，在表计智能化，行业标准化，通信新技术研究引用，集抄主站技术等方面，比电力/电表行业落后很多。全国，需要组建一个电，水，气，热能源计量技术产业联盟，负责统一规划，协调推进各地能源计量工作发展。

•电表行业，早有全国统一的行业主管部门，开展行业标准化，行业新技术，信息交流与培训，与iec国际合作，具有长期工作经验。可以说，向水，气，热能源计量领域输出新业务，具有行业优势。

5 ）作为实体经济的电表企业，技术创新是未来发展趋势，更是驱动力

•年前，中央经济工作会议提出:"振兴实体经济"新政，其要点:

"实施创新驱动发展，既要推动战略性新兴产业蓬勃发展，也要注重用新技术，新业态全面改造提升传统产业"

"引导企业形成自己獨有的比较优势，发扬‘工匠精神‘，加强品牌建设，培育更多‘百年老店‘,增强产品竞争力"

随着"振兴实体经济"新政的贯彻落实，期望国家在创新产品的税收，开发资金，产品销售补贴等方面给以优惠政策。

•2016年11月，在北京，由中国电科院牵头组建"中国智能量测产业技术创新战略联盟"，并召开"中国智能量测技术论坛"，对电表行业发展具有启示

作用。

该论坛介绍的专题报告，代表近几年国内特别是国网智能量测技术研究新成果，包括:

«中国计量科学的现状与未来»

«新一代用电信息系统技术架构总体研究»

«在线监测在电能计量中的应用»

«融合电力密码技术，保障电网通信安全»

«面向电力设施智能传感技术介绍»

«基于大数据的采集智能运维技术»

«能效计量助推绿色发展»

«企业能源综合管理技术»

«智能计量创新与发展»

«新能源计量技术»

«智慧能源方案»

«符合智能制造"工业4.0"的智能计量产品研究»

«载波在智能化系统中的应用和智能化发展趋势»

•2016年，国网发布«智能配变终端技术规范（征求意见稿）»，预示电网自动化终端将向智能化终端发展的趋势。

•2016年，本文作者在网上发表文章:«智能电能计量系统技术初探（第三版）»，«再论电，水，气，热"四表集抄"的争议与发展----国网"四表合一"采集:调整策略，走向大同»，«"十三五"期间智能电表及通信新产品开发难题的讨论»，研究提出一批有应用前景的智能化技术创新产品开发课题，供参考。

6 ）关于电表企业走向"百年老店"

综合以上情况来看:

•电表企业拓展技术创新产品开发与应用，有前景:

电表行业本身，近期传统电表计量产品市场需求进行低谷，计量新原理电表暂时需求不旺，电表企业需要下功夫进行电网量测技术创新产品开发与应用。

水，气，热能源计量领域，目前急需进行行业集抄现代化改造，实现电，水，气，热行业集抄全面，均衡发展，进而推进智慧城市能源总量控制与平衡，损耗管理。同时，面对水，气，热能源计量领域技术创新产品开发与应用市场，电表企业需要去开拓，培育这个新的市场。

•电表企业拓展技术创新产品开发与应用，有难度:

从2010年以来，电表企业主要面向国网，南网智能电表集中招标，用心保障计量产品质量，企业因市场稳定，计量新原理电表产品需求不旺而受益，发展。面对目前的新情况，电表企业要部署多元化技术创新产品开发，培育全新的市场，显得新产品开发与营销实力不足。因此，电表企业需要集中力量，加大高端开发人才与资金的投入，开展与有开发实力的高等院校/省级电网计量中心技术合作，进行电，水，气，热能源计量领域技术创新产品开发与应用。

•电表企业如何走向"百年老店"？

按照2016年中央经济工作会议关于"振兴实体经"的要求，电表企业的关键，要转变企业发展理念，由长期形成的靠低技术产品扩张与并购来发展企业，转向培育"工匠精神"，注重品牌建设，开拓电，水，气，热能源计量领域技术创新产品高端市场。

2,顺应智能配电网建设高端技术的需求，推进配电台区智能（高级）终端系列产品开发应用的产业化探索

新的一年，面对智能电表招标总量大幅下降，计量新原理电表暂时需求不旺的情况，电表企业如何再发展？本文作者认为:电表企业要在继续用心做好国网智能电表保底市场集中招标工作基础上，可选的再发展路径主要有:

•电网用数字电表，直流电表，用户光伏并网监测管理系统等专用小批量产品开发

•开拓电力用户自采购市场，营销传统电表终端产品，统计电表，用户内部电力负荷与能效监测控制系统

•传统电表终端经技术改进后出口

•企业转型产品开发，包括配电设备/系统，新能源产品，走贴牌仿制或兼并另类企业的捷径。

但是，以上这些常规产业市场的低价位竞争激烈，拓展批量新用户也很困难。

在目前新的情况下，按照年前中央经济工作会议提出:"振兴实体经济"，"实施创新驱动发展"的要求，具有经济技术实力的电表企业，重点应选择具有长期市场前景，开发有一定难度 的电网监测控制技术创新产品的开发。

本文作者经汇总分析我国智能配电网发展前景和电网量测控制领域新技术的应用情况，提出"顺应智能配电网建设高端技术的需求，推进配电台区智能（高级）终端系列产品开发应用的产业化探索"课题,作为今后几年电表行业拓展技术创新产品开发重点课题的建议。

新课题开发对电表行业长期发展的重要性？

1 ）创建智能化产品新产业的时机合适

•近几年，国网坚强智能电网建设投资的重点是特高压工程与刚起步的智能配电网网架和主站重构。配电台区:从配电变压器高压端鈕到用户的供电区域，由配电变压器，智能电表，配电监测控制终端，低压线路和用户侧设备组成。其中，配电监测控制终端（简称配电终端）应用量很大。

•现有配电台区低压电网运行指标监测控制管理，包括低压电网运行电压，电流及其相位差，有功无功功率，电能量，电能质量，配电台区线损等，主要由智能电表和配电终端进行在线监测，单指标自动控制，属于低压电网运行指标开环定值管理。

•鉴于国网忙于高电压端的智能电网建设工程，配电网网架主站重构工程量大，需要较长的周期 。电表行业先期进入配电台区低压电网智能化高端技术开发，将提前为智能配电网用户侧智能化发展探索，铺路，积累经验，也为电表行业长期发展培养一批智能控制技术开发人才，创建起智能化产品新产业。

2 ）配电网用户侧智能高级应用功能的开发，体现出技术创新理念

长期以来，国网的配电网技术滞后，是短板，正在集中力量补上配电网标准化，网架主站重构，启动配电网智能化进程。

智能配电网建设的目标？至今，尚未见到国网在这方面的系统研究报道。

2009年9月，清华大学学者提出:"智能电网是指以标准化接入为基础，以信息共享，智能决策和综合调控为主要手段，具有多指标，自趋优运营能力的电网"。在配电网的配电台区，该论述反应了电力用户期望得到可靠优质电能的同时 ，尽量降低成本的要求。

面对千家万户的配电网用户侧，如何提高配电台区运营能力，实现多指标，自趋优的高端目标？是道技术创新难题。

•前面已经指出:现有配电台区的在线监测控制系统 ，属于运行指标开环定值管理，难以快速达到多指标，自趋优的高端目标。

•再说近年来发布的智能配变终端技术标准

2015年，电力行标«智能配变终端技术条件（dl/t1442----2015）»发布，规定智能配变终端需要集成的功能:配变监测与保护，用户用电信息监测，配变计量总表监测，配电设备状态监测，电力负荷管理，电能质量管理，线损计算，经济运行分析，互动化管理，分布式电源接入等18项在线监测 控制功能。特别是电能质量管理项目，要求"支持动态无功补偿和有源滤波混合模式，对配电台区无功功率进行快速动态补偿，对频率，大小都变化的谐波进行抑制，能跟踪补偿快速变化负荷的各次谐波，并对台区负荷三相不平衡问题进行治理"。

2016年，国网发布:«智能配变终端技术规范（征求意见稿）»提出:智能配电台区要"实现电能分配，电能计量，无功补偿以及供用电信息的自动测量，采集 ，监控等功能，并具有标准化，信息化，自动化，互动化的智能化特征"。

"智能配变终端，集供用电信息采集，设备运行状态监测，智能控制与通信功能于一体的二次设备"。

在采用通信新技术方面，该技术规范规定的接口要求:

终端远程通信接口:应具有以太网，2g/3g/4g公网远程通信接口

终端本地通信接口，应具备rs232/rs485串口，以太网，宽带载波通信接口，微功率无线通信接口。

该技术规范明列的智能配变终端功能要求，与电力行标dl/t1442----2015基本相同，但分成基本功能与扩展功能两类列出。并将"电能质量综合治理:支持动态无功补偿和有源滤波混合模式",列入扩展功能。

以上这些相继出台的智能配变终端标准，集成了名目繁多的配电台区运行指标，采用多种现代通信方式，模块化结构设计，并具有标准化，信息化，自动化，互动化的智能化特征，就定义为智能配变终端。需要指出:这些智能配变终端标准的重点是规定了配电台区多指标在线监测，单指标自动控制要求。电能质量综合治理项目，作为扩展功能要求。终端的"四化"智能化特征，与国网坚强智能电网的特征基本相符合。但与配电台区运行多指标，自趋优的高端目标和智能控制技术路线还有很多差异，属于智能化初级阶段技术。

•在叙述智能（高级）终端之前，需要明确3个名词

北京邮电大学:«智能信息技术»提出:

智能机器:"能够在特定的环境中自主地或与操作人员交互作用执行各种通常需要人来完成的任务的机器"。

自动控制:"能按规定程序对机器或装置进行自

动操作或控制的过程"。

智能控制:"驱动智能机器自主地实现其目标的过程，或者说智能控制是一类无需人的干预，就能够独立驱动智能机器实现其目标的自动控制"。

"智能控制的关键在高层:在于对实际环境或过程进行组织，即决策和规划"。"低层控制一般属于常规控制系统"。

•配电台区智能（高级）终端是智能机器，具有自主决策和规划/响应功能

配电台区的低压电网，运用智能（高级）终端构建多输入多输出（mimo）智能控制系统 ，即构建低压电网多指标在线监测与控制补偿闭环优化系统，按照模糊神经网络算法，以信息共享，智能决策和综合调控为手段，经过快速，反复，精确的系统操作，实现配电台区多指标，自趋优运行的高端目标。

为拓展配电台区智能（高级）终端的应用领域，其智能化高级应用功能设计有:

提高配电台区低压电网多指标，自趋优运营能力

在现场自主进行紧急事件处理

多路径优化搜索

实现配电网与用户互动 ，即具有多通信方式网关功能。

3 ）配电台区智能（高级）终端有长期的市场前景

目前国网配电台区应用的配电终端，主要有4类:公用配变终端，用户专变终端，采集用集中器，用户电力负荷管理终端，共计约1280万台。其中:

•公用配变终端约400万台，包括城网10kv公用配变终端140万台 ，农网10kv公用配变终端260万台，由电网供电生产部门管理。

•用户专变终端，估计470万台，由电网营销部门管理。

•采集用集中器，经折算约320万台，由电网营销 部门管理。

•用户电力负荷管理终端 ，估计90万台，包括大工业户电力负荷管理终端50万台，其它专变用户电力负荷管理终端估计40万台，由电网营销部门管理。

[注:配电网的馈线终端（ftu）,站所监测终端（dtu），主要用于配电网网架安全运行管理，不列入本文讨论范围]

配电台区智能（高级）终端系列产品预期需求:

•公用配变终端（400万台），随着国网智能配电网用户侧建设的推进，如有50%的公用配变终端改用智能（高级）终端，国网需用200万台。

•用户专变终端（470万台），如有30%改用智能（高级）终端，国网需用140万台。

以上两项合计，国网智能配电网用户侧建设需用配电台区智能（高级）终端340万台。

本文暂时未将采集用集中器 ，用户电力负荷管理终端列入智能（高级）终端拓展应用范围，需进一步论证再说。

再是，配电台区智能（高级）终端系列产品的技术创新理念和高级应用功能，适用于水，气，热能源计量领域拓展技术创新产品开发应用，本文后续部分将作专题讨论。

3,配电台区智能（高级）终端高级应用系统前期设计技术的讨论

作为技术创新产品的前期设计，本文汇集智能化相关资料并经提炼后，将重点叙述运用配电台区智能（高级）终端，构建配电台区低压电网多输入多输出（mimo）在线监测，控制，补偿闭环优化系统的框架设计与参考技术，供配电台区智能（高级）终端高级应用系统方案设计的参考。

1 ）优化控制理论:"电力混成控制论"

鉴于由清华大学学者提出的"电力混成控制论"构建的先进能量管理系统，已经在上海电网应用解决大电网的多重目标趋优控制问题，体现了技术创新的思路 。本文将"电力混成控制论"作为智能（高级）终端高级应用功能的设计技术基础。

下面的内容摘录于清华大学学者:«智能电网基础»。

一是，"电力混成控制论主导思想:将一切不满足要求和不满足状态都分类定义为事件，通过控制使得系统回归至无事件运行状态，则系统的各项指标（稳定性，电能质量和经济性）一定是足够满意的"。

二是，"电力混成控制论"的运行架构:由最高决策指挥层，中间处理与操作层，底层（混成控制指令接收和执行装置）组成。

三是，本文参照"电力混成控制论"的集合论语言，描述配变台区低压电网运营达到多指标，自趋优的智能控制过程:

•式（1）: e=e^d

式中，由低压电网实测到的运营指标数据d，经逻辑判断（逻辑函数）e^,确定是否形成指标异常

事件e。

•式（2）:c=f(e)

式中，由指标异常事件e，运用逻辑函数f，判断事件类型并将其转化为控制命令c。

•式（3）:o=f^(c)

式中，一个由控制命令集c，运用逻辑函数f^,由命令转化为操作指令集o。

•式（4）:o=f^[f(e)]

式中，操作指令集o是指标异常事件集合e的一个复合逻辑函数。

•式（5）:x*=y(x o_)

式中，整个低压电网运营状态x受控，可以通过时间离散的操作指令o_ ,加以改变为x*。

•式（6）:a(o)---->e€0

式中，操作指令作用的结果a 是使指标异常事件集合e成为空集。

式（6），意味着配电台区低压电网实现了多指标 ，自趋优运营的高端目标。

由上可见，配电台区低压电网始终处于指标异常事件发现，处理和消除的过程。

2 ）配电台区低压电网运营有哪些考核电能质量，经济性的指标及其调控措施？

一是，多指标,主要有:

•电压及电压合格率

•电流及有功功率限额

•无功功率及功率因数限值

•三相负荷不平衡度

•电压/电流谐波含有率

•线损率等

二是，低压电网多指标的调控手段，主要有:

•有载调压配变，用以调节电压

•电容器补偿/动态无功补偿 ，用于调节基波无功功率及功率因数/电压/线损

•有载换相负荷开关 ，用于调节三相负荷不平衡/线损

•有载调容配变，用于调节线损

•有源滤波器 ，固定谐波次数的滤波器，用于调节谐波含有率，由畸变功率引起的低功率因数，线损

•高压断路器及电力负荷管理终端，用于配电变压器过负荷时，进行报警，跳闸。

由此可见，低压电网运营的电能质量，经济性各指标及其调节手段之间，有内在联系，相互影响。多指标因超限运用综合调控时，需要引入各指标加权的方法来处理。

«智能电网基础»指出:

"自趋优是指电网在运营过程中，具有使状态自动保持在多指标趋优状态集合内的能力。使电网运营状态点使得各类指标达到一定的标准 ，即趋近最优状态是合理的而且是可能的。

多指标趋优而不是多指标最优，是因为计算速度 ，求解难度等原因"。

3 ）配电台区多指标运营优化模型

参照湖南大学学者:«具有谐波抑制功能的综合电能质量控制系统设计»提出的"多目标电压无功谐波优化算法",结合配电台区多指标运营情况 ，本文下面将叙述配电台区配电台区多指标运营优化模型设计概要。

•该优化系统设计，一方面，以配电台区运营可靠性为基础，将电压及电压合格率达标，电流及有功功率不超限，无功功率及功率因数不超限，三相负荷不平衡度不超标 ，谐波含有率达标，线损不超限作为目标要求，运用优化方法，得出其控制参数的最优解。另一方面，以有载调压配变分接头调节量，电容无功补偿器/动态无功补偿器的补偿量，有载换相负荷开关切换能力，有源滤波技术补偿量，有载调容配变功率调节量为控制变量，建立配电台区多指标运营优化模型。

•配电台区多指标运营优化模型主要包括下列内容:

该优化系统可靠度计算方法

联合概率密度函数计算，并取最小值。该函数等于各目标指标与其加权因子的乘积之和。其中，加权因子的数值，取决于各目标指标的数量级及重要程度。

有载调压配变分接头的电压百分率调节范围

电容器无功补偿/动态无功补偿调节范围

有载调容配变的调容范围

有源滤波技术的谐波补偿范围

有载换相负荷开关的电流切换 限值。

4 ）从不同类型案例中汇集提炼出 bp 神经网络设计参考技术

本部分内容摘要于重庆大学，重庆市电科院:«基于前馈神经网络的电网高精度检测»，海河大学:«基于信息融合的光伏并网逆变器故障诊断»，中国电科院:«一种多维影响下运行电能表计量性能评估方法»，北京邮电大学:«智能信息技术»，并按需要进行编排。

bp前馈神经网络工作过程

这里，三个参考案例的bp前馈神经网络，都采用输入层，隐含层，输出层3层拓扑结构，各层节点之间按一定规则互联成网。

"（bp）前馈神经网络使用梯度下降法，有2部分组成:信息正向传播和误差逆向传播。信息正向传播过程中，输入信号从输入层经隐层单元逐层传播，最后传向输出层，每一层神经元状态只影响下一层神经元状态。如果在输出层不能得到期望的输出，则转向误差逆向传播，将输出信号的误差沿原来的连接通路返回。用迭代运算求解权值，通过修改各层神经元的权值，使得误差信号减小，直至达到期望目标。只有1个隐含层的3层神经网络，只要隐节点足够多，就可以以任意精度逼近一个非线性函数"。

bp前馈神经网络设计概要:

一是 ，网络输入量进行归一化处理

输入层各神经元（节点）为一维输入，多维输出结构。输入量是低压电网运营的电压，电流，功率等数据。对每个输入量进行归一化处理（计算公式:略），即可得到输入层各元素之间的函数关系，即各输入层神经元（节点）实测到的输入值与各输入层神经元（节点）经归一化后的输出值之间的函数关系。

二是，bp前馈神经网络参数选取

"在进行bp前馈神经网络设计时，一般从网络的层数，各层神经元（节点）的个数以及训练函数三个方面来考虑"。

•隐含层节点数的确定

"隐含层节点数直接影响网络的容量，泛化能力，学习速度和输出特性。从网络容量和函数逼近的通用性考虑，隐含单元数越多越好。从网络的泛化能力来考虑 ，每增加一层，计算容量将呈指数倍增加，从而训练时间变长，还容易陷入局部极小量，而得不到最优"。

"由最小二乘法对隐含层进行拟合，得到隐含层节点数的计算式":

隐含层节点数=[0.43mn+（0.12•n平方）+2.54m+0.77n+0.35+0.51]的开方

隐含层节点数还可由经验公式计算选定 :

隐含层接点数=[（m+n）的开方+a]，式中，1<a<10

以上两式中:

m----输入节点数

n----输出接点数

a----可选数

例如，配电台区智能（高级）终端的输入接点，输出节点数 都取6,隐含层接点数确定为11。

•传递函数与训练函数的确定:包括隐含层神经元（接点）的传递函数:如采用s型正切函数tansig,输出层神经元（节点）传递函数:如采用s型对数函数 logsig,训练函数:如采用lm(lvenberg----marquardt)训练规则的trainlm函数。其中，"lm算法是梯度下降法与高斯----牛顿法的结合，在快速收敛的基础上，能保证较高的稳定性和精度"。

三是，学习样本和目标样本的确定

•网络输入量的个数和数据样本的选取:（待定）。

•通常选用训练用的数据样本取40----200组。其中，随机选取80%的数据样本 ，作为训练样本，剩余20%作为对训练好的bp前馈神经网络进行仿真验证用。

四是，进行仿真测试

•在搭建好的bp前馈神经网络上，用训练样本进行训练，需要设定训练误差，学习率指标，编制网络训练学习流程图，进行网络初始化。

•"利用选定的训练样本反复作用于网络 ，不断调整网络内部参数，使网络性能函数达到最小，使网络对训练样本组评估的实验标准偏差满足设计的精度要求，从而实现输入与输出之间的非线性央射 ，确立网络神经元（接点）之间的函数关系"。

•训练完成后，利用训练好的bp网络对测试样本进行测试。

参考资料:

本文采用反向传播（bp）学习算法

"bp算法是目前最重要的一种学习算法。这种算法在感知器上加上一个隐含层，并且使用广义专门算法进行学习之后发展起来"。

"在有教师的学习算法中，有教师学习问题可分两步解:第一步，指定网络的拓扑结构，输入X(t)和输出y(t)之间的关系必须依赖于一组联结强度系数w，并且使w可以调节。第二步，须指定一个学习规则，即如何调节w，使实际的输出y^（t）尽可能接近期望的输出y（t）"。

这里需要指出:"前馈网络是一种强有力的学习系统，其结构简单而易于编程。从系统观点看，前馈网络是一静态非线性央射，通过简单非线性处理单元的复合央射可获得复杂的非线性处理能力。但是从计算的观点看，前馈网络不是一种强有力的计

算系统"。

5 ）高端网络:模糊神经网络

本部分内容摘录于«智能信息技术»，河南平顶山供电公司:«基于模糊神经网络的光伏发电系统功率控制方法»。

神经网络不适合用于表达基于规则的知识，模糊逻辑系统缺乏自学习，自适应能力。模糊神经网络，将模糊逻辑的长处吸收到神经网络中，使之成为更好的网络。

模糊神经网络是一个多输入多输出(mimo)系统。

一是，模型

这里的模糊神经网络，采用五层结构，各层节点之间按一定规则互联。

第一层，输入层，各节点输入各测量的分量，并将输入值传递到下一层。

第二层，各节点代表一个语言 变量值，如nb（负的大）,ps（正的小）等。其作用是计算各输入量，属于各语言变量

值模糊集合的隶属度函数。根据输入量的维数，输入量的模糊分割数，该层节点总数由计算选定:（计算公式，略）。

第三层，各节点代表一条模糊规则，其作用是用于匹配模糊规则的前件，计算出每条规则的适应度。该层的节点总数由计算选定:（计算公式，略）。对于给定的输入量，只有在输入量附近的那些语言变量值，才有较大的隶属度。

第四层，节点数与第三层相同。其作用是实现对每条模糊规则适应度的归一化计算。

第五层，输出层，实现清晰化计算（计算公式，略）。

二是，学习算法

"模糊神经网络模型实质上是一种多层前馈网络，可以仿照bp网络用误差反控的方法来设计调整参数的学习算法。并且，假设各输入分量的模糊分割数是预先确定的，需要学习的参数主要是最后一层的联结强度以及第二层的隶属度函数的中心值和宽度"。

三是，参考案例

«基于模糊神经网络的光伏发电系统功率控制方法»:

"概率模糊神经网络控制器，（用于）求取三相逆变器注入电网的有功和无功电流参考值"。

概率模糊神经网络控制器包括6层网络结构:

"第1层为输入层，第2层为隶属度层，第3层为概率层，第4层为tsk模糊推理机制层，第5层为规则层，第6层为输出层"。其中，输入层的节点为2，输出层节点为1。"在隶属度层中，每个接点采用不对称高斯函数实现模糊化运算"。

"概率模糊神经网络控制器（采用）误差向后传播学习算法机制，构造一个梯度向量，使得其中每个元素均为能量函数相对于算法参数的一阶微分，从而完成概率模糊神经网络的参数在线自整定"。

四是，鉴于目前多输入多输出（mimo）的模糊神经网络在电网量测控制领域中应用案例的报道甚少，因此，模糊神经网络技术如何应用于配电台区智能（高级）终端高级应用系统设计技术探索，是需要深一步研究的课题。

6 ）配电台区智能（高级）终端设计参考新技术

•配电网波形级实时监测的综合配电终端单元（idu）

据报道:2017年1月3日，国内首套综合配电终端单元（idu）在夏门火炬高新园区挂网运行。

"综合配电终端单元（idu）是国家863项目"主动配电网关键技术研究与示范"的关键成套装置，主要通过高速同步相量测量实现对配电网潮流的精确监测，线路潜在故障的在线监测与预防，支撑供电能力和负荷的态势感知，并为配电网的瞬时剖面状态估计，电能质量优化，谐波治理提供丰富的数据，有效提升配电网可观，可测和可控性"。

•«自适应负荷型配电变压器设计»（中国电科院）

"自适应负荷型配电变压器的结构，包括配电变压器本体单元 ，有载调容调压一体化单元，配套设备单元及综合控制单元"。

该新型配电变压器"可在不切断负荷情况下，根据系统电压和负荷实际情况，实现配电变压器分接头和容量运行方式的自动调整，并具有在线负荷换相和分相无功补偿功能，有效解决三相负荷严重不平衡问题，保证电压和容量判定的及时性和准确性"。

•模糊pi控制器

东北电力大学:«高压直流输电智能控制器的设计»

（注: pi，比例积分器）

模糊pi控制器的输入端:电流参考值与被测电流之差作为"偏差"和"偏差变化"---->模糊推理单元（按模糊控制规则计算并输出两个pi控制器可自动调整参数的修正量）---->pi控制器 单元（并输出调

整命令）---->触发器单元---->被控制对象---->被测电流（并反馈至模糊pi控制器输入端）。

"实现模糊调整可以选取以下规则":

"如果稳态偏差大，那么就增加比例系数"

"如果响应震荡，那么就增加微分系数"

"如果响应迟缓，那么就增加比例系数"

"如果稳态偏差太大，那么就调整积分系数"

"如果超调量太大，那么就减少比例系数"。

模糊pi控制器的优点:"当被控制对象参数或运行条件改变时，就能自动在线调整pi的参数，达到智能控制的作用"。

•综合电能质量控制系统

湖南大学学者:«具有谐波抑制功能的综合电能质量控制系统设计»

该综合电能质量控制（调节）装置由有载调压变压器，并联补偿电容器组和注入式并联有源电力滤波器（hapf）组成。

该系统采用多目标电压，无功，线损，谐波函数及其加权因子的优化算法，从全局进行系统优化。

有源部分只承受很小的谐波电压，有效降低有源部分的容量。

注入式并联有源电力滤波器的复合控制部分，采用复合电流的模糊pi控制技术。

•抑制不对称负荷动态无功补偿时向电网注入的谐波含量

南京理工大学:«计及谐波抑制的不对称负荷动态无功补偿方法»

"晶闸管相控电抗器（tcr）配合电力电容器，可以校正功率因数，稳定系统电压，还可以补偿三相负荷的不平衡"。

"在不对称程度较为严重的场合，对tcr的分相控制会使tcr向电网注入包括3次谐波在内的高次谐波"。

基波电压与高次谐波电流均产生无功功率。根据功率平衡理论，无功补偿的目标使无功矩阵中各项元素为0。在实际控制应用中，采用（可调）加权对角阵进行计算。

"采用改进的无功补偿策略,能有效降低在负荷严重不对称情况下tcr向电网注入的谐波成分 。在电网中谐波成分较大时 ，还能综合考虑谐波因素和无功补偿的性能指标，给出较为合理的触发角控制tcr，明显减少母线上含有的电流谐波成分。从理论上可以考虑任意次谐波成分"。

•超级智能开关

该新产品"集测量，保护，控制，故障录波，电能质量监测，配变监测 ，负荷管理和通信功能于一体。产品功能国际领先，国内外无同类产品"。

该新产品"采用插拔式结构，"三段式保护功能"，"测量与保护一体化电流互感器"，"通过校验台进行计量校验的断路器"。

该新产品主要技术指标:

额定电压:ac,400v

额定电流:250a

,400a,630a

额定运行短路分断能力:42.5ka。

说明:本文以上叙述配电台区智能（高级）终端第1 项高级应用功能的前期设计技术，还有3项高级应用功能:"在现场自主进行紧急事件处理","多路径优化搜索" ,"实现配电网与用户互动，即具有多通信方式网关功能"的前期设计技术,将由本文作者另撰写专题文章发布。

结束语

智能终端的进化之旅：从量测到智能化控制补偿

在一个科技飞速发展的时代，智能终端逐渐从单纯的量测技术中脱颖而出，迈向了更为前沿的智能化控制补偿技术。这一转变不仅标志着技术的进步，更预示着各个行业即将迎来一场革命性的变革。

在智能终端的早期阶段，量测技术是其核心功能。这些设备通过内置的传感器和算法，能够精确地测量和记录各种物理量，如温度、压力、流量等。这些数据为各个领域提供了宝贵的参考信息，帮助人们更好地了解和控制环境。然而，随着科技的不断发展，人们对智能终端的期待也在不断提高。单纯的量测技术已经无法满足日益复杂的需求，因此，智能终端开始踏上了拓展之路。

智能化控制补偿技术的出现为智能终端的发展注入了新的活力。这种技术基于实时数据反馈，通过对量测数据的深入分析和处理，能够预测系统的未来状态，并根据预设的目标自动调整控制参数。这使得智能终端不仅能够提供准确的数据，还能够根据需求自动调整设备的运行状态，实现系统的最优化。

在智能终端的拓展之路上，有许多令人瞩目的应用案例。在智能家居领域，智能终端可以通过实时监测室内的温度、湿度等参数，自动调节空调、加湿器等设备的运行状态，为用户创造一个舒适的生活环境。在工业自动化领域，智能终端可以实时

监测生产线的运行状态，及时发现并解决问题，提高生产效率和产品质量。在能源管理领域，智能终端可以实时监测电网的运行状态，自动调整能源分配，实现节能降耗和可持续发展。

然而，智能终端在智能化控制补偿技术领域的拓展仍面临诸多挑战。首先，如何确保数据的准确性和实时性是一个亟待解决的问题。其次，如何设计高效的控制算法以适应各种复杂场景也是一个重要的研究方向。此外，随着智能终端的普及和应用范围的扩大，如何保障数据安全和隐私保护也成为了一个不可忽视的问题。

展望未来，智能终端在智能化控制补偿技术领域的应用前景广阔。随着科技的不断进步和创新，我们可以期待智能终端在更多领域发挥更大的作用，为人类的生活和工作带来更多的便利和效益。同时，我们也需要关注智能终端在安全性、隐私保护等方面的问题，确保其在推动社会进步的同时，也能够保障人们的合法权益。

总之，智能终端从量测技术拓展至智能化控制补偿技术是一项具有重要意义的研究。这一转变不仅推动了技术的进步和发展，更为各个行业带来了革命性的变革。随着科技的不断进步和创新，我们有理由相信智能终端在未来的发展道路上将会创造出更多的奇迹。

参考文献

[1] 阮前途;王伟;张王俊;俞旭峰;卢强　上海电网 AEMS 与混成控制系统研究与建设 《上海电力》- 2007-07-15

[2] 王勇;付志红;张淮清;王好娜;侯兴哲　基于前馈神经网络的电网基波高精度检测 《电网技术》- 2011-08-05

[3] 卜京;江宁强 计及谐波抑制的不对称负荷动态无功补偿方法 《电网技术》 2010-07-05

[4] 闵月梅;王宏华;韩伟　基于信息融合的光伏并网逆变器故障诊断 《电测与仪表》- 2014-01-10

[5] 曾芬芳,王颖,黄国建,王善炯 基于模糊神经网络的手势识别《小型微型计算机系统》

[6] 李贺龙;刘佳;陈伟;李立;王春雨　一种多维影响下运行电能表计量性能评估方法 《电测与仪表》- 2016-04-25

[7] 王金丽;盛万兴;方恒福;王金宇;杨红磊;王利 自适应负荷型配电变压器设计 《电力系统自动化》- 2014-09-25

[8] 贾春玉;单修迎 基于动态递归模糊神经网络的轧机辊缝动态辨识 《塑性工程学报》- 2008-10-28

[9] 李小艳(导师:张军英) 模糊神经网络及其在回转窑控制中的应用《西安电子科技大学》- 2008-04-01